

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



Tereza Čechová

Umělá infiltrace povrchových vod do podzemí
Artificial recharge of surface water to aquifer

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Praha 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze.

Podpis.

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce doc. RNDr. Zbyňku Hrkalovi, CSc. za poskytnutí odborných rad, ochotu, vstřícný přístup během zpracování této bakalářské práce a veškerý čas, který mi věnoval.

Abstrakt: Práce se věnuje problematice doplňování podzemní vody. Zdrojem podzemní vody je infiltrace z atmosférických srážek. Studie se zabývá užitím řízené umělé infiltrace v České republice a dalších státech světa.

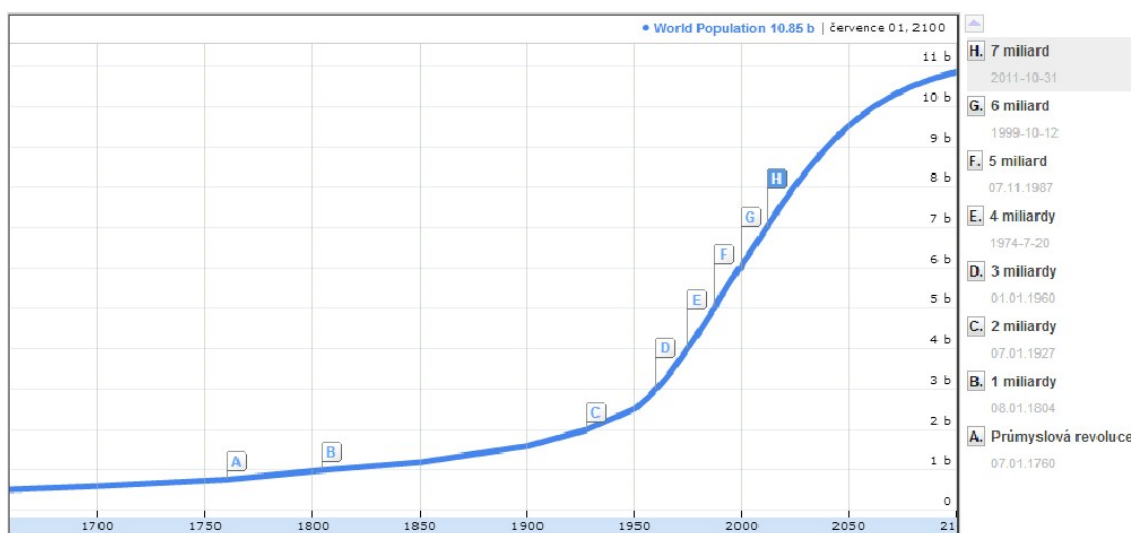
Abstract: The bachelor thesis is devoted to groundwater recharge. The source of groundwater is infiltration of atmospheric precipitation. The study deals with the use of controlled artificial recharge in the Czech Republic and the other countries in the Word.

Obsah:

1. Úvod	6
2. Infiltrace	8
2. 1. Typy infiltrace.....	8
2. 2. Hydrogeologická bilanční rovnice.....	9
2. 3. Rychlost infiltrace.....	9
2. 4. Metody stanovení.....	10
3. Umělá infiltrace.....	11
3. 1. Historie.....	12
3. 2. Podmínky umělé infiltrace.....	12
3. 3. Technologický postup.....	12
3. 4. Kontaminace.....	14
3. 5. Zasakování odpadních vod.....	14
4. Umělá infiltrace ve světě.....	15
4. 1. Česká republika.....	17
4. 2. Španělsko.....	18
4. 3. Mexiko.....	19
4. 4. Indie.....	20
5. Úpravna vody Káraný.....	21
6. Závěr.....	24
7. Seznam informačních pramenů.....	25

1. Úvod

Svět se potýká s nedostatkem pitné vody. Problém spočívá v růstu světové populace a špatné dopravě pitné vody na potřebná místa. Současná světová populace přesahuje 7 miliard lidí, z toho čistý populační přírůstek v roce 2014 činí kolem 50 milionů. (worldometers.info)



Obr. č. 1: Pravděpodobný vývoj světové populace od roku 1700 do roku 2050
(worldometers.info/world-population)

Přítomnost vody v půdě je důležitá, dokazuje to i fakt, že všechny procesy jsou s vodou úzce spjaty, například využití srážkové vody rostlinami. Z hlediska přírodních podmínek jsou rozsáhlé oblasti, které trpí nedostatkem vody, naopak jsou také oblasti, kde je vody dokonce nadbytek. Například v Pákistánu se setkáváme s velkým nedostatkem, voda ve vodovodní síti je dostupná pouze tři hodiny denně, na africkém kontinentu (např. Ghana) je nejbližší zdroj pitné vody dokonce několik kilometrů vzdálený. Jeden z největších problémů je v Pásmu Gazy, kde je důvodem nedostatku vody konflikt se sousedními státy, špatná distribuce vody a závislost na Izraeli. (pijtezdravouvodu.cz)

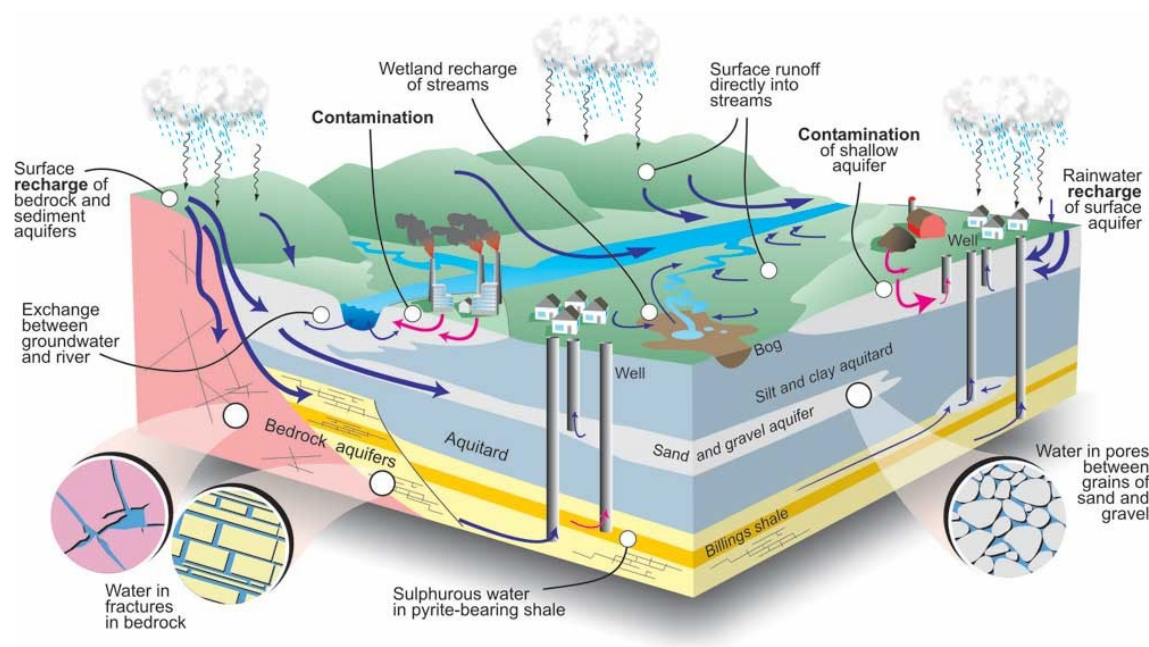
Vodní stres nastává, pokud je na jednoho obyvatele ročně k dispozici méně než 1700 m³ sladké vody. O nedostatku mluvíme, když je na jednoho obyvatele k dispozici méně než 1000 m³. Založeno je to na statistických hodnotách pro jednotlivé státy. Hledáme souvislost mezi srážkovými úhrny a počtem obyvatel,

respektive jejich hustotou. Proto například málo zalidněná Austrálie vychází jako území s dostatečnou vodní zásobou ač jde o velmi suchou oblast.(Moldan; 2009)

Umělá infiltrace je způsob doplňování zásob podzemních vod. Pomocí umělé infiltrace lze řízeným způsobem čistit vodu. Infiltrace ovlivňuje vodní režim půdy, vodní bilanci a intenzitu povrchového odtoku. Intenzita infiltrace je proměnlivá v závislosti na mnoha faktorech a závislá na půdních poměrech. Umělá infiltrace povrchové vody do podzemí je aktuální téma vzhledem k nerovnoměrnosti rozdělení srážek během roku. Infiltrací se dosáhne zvýšení retenční schopnosti půd, podpoření vsaku vody do podzemí a omezení ztrát půdy způsobené vodní erozí. (who.int, generationawake.eu) Proces, při kterém voda z povrchu vstupuje do systému podzemní vody, se nazývá vsakování. Voda se dostává do podzemí také pomocí mokřadů a koryt řek. (Zajíčková, storm.fsv.cvut.cz) Ke změně atmosférické vody na podzemní dochází při infiltraci srážek. Opačný proces se nazývá evapotranspirace. Zde se podzemní voda mění zpátky na vodu atmosférickou. Do tohoto procesu se zahrnuje přímé odpařování mělké podzemní vody a transpirace vegetace. Podzemní voda může proudit potoky, prameny, mokřady až do oceánů nebo je čerpána vrty pro lidskou spotřebu. Využívání podzemní vody se intenzivně rozvíjí na Blízkém východě, v severní Africe, Latinské Americe a Karibiku. Tlak na zdroje povrchové vody se zintenzivňuje díky růstu počtu obyvatel, zvětšení poptávky po potravinách, znečištění a změně klimatu. (Gale, 2004)

2. Infiltrace

Proces, při kterém se povrchová voda z přirozených nebo umělých zdrojů dostává do propustného prostředí a obohacuje zvodnělé horizonty. Zásoby podzemní vody představují objem vody zvodněného kolektoru. Přírodní zdroje vody jsou dynamickou složkou podzemních vod. Zdroje představují dotaci do zvodněného systému (srážky, infiltrace z řeky) nebo úbytek ze systému (prameny). (geologie.vsb.cz) Přírodní infiltrace je obvykle 30 - 50% srážek v mírném vlhkém podnebí, 10 - 20% srážek v podnebí Středozevního typu a asi 0 - 2% v suchých klimatických podmínkách. (Bouwer, 2002)



Obr. č. 2: Infiltrace do podloží
(nrcan.gc.ca)

2.1. Typy infiltrace

Infiltraci můžeme rozdělit na přirozenou (břehová, indukovaná) a umělou. U přirozené infiltrace se srážková voda z povrchových vod a z roztátého sněhu vsakuje do půdy. Infiltrace břehová zasakuje vodu z řek, rybníků a moří. Proniká břehy i dnem přes štěrkopísčité či písčité náplavy. Indukované zdroje podzemní

vody jsou definovány jako množství vody přitékající do systému v důsledku uměle vyvolaných změn. Za umělou infiltraci považujeme vsak vody vyvolaný umělým zaplavením povrchu země. Jedním z mnoha využití umělé infiltrace je získání pitné vody. (Ambrožová J., 2003)

2.2. Hydrologická bilanční rovnice

Infiltrace figuruje v hydrologické bilanční rovnici. Spolu se srážkami, evapotranspirací a povrchovým odtokem ji můžeme vyjádřit rovnicí:

$$P = ET + PO + I$$

kde P ... srážky, ET ... evapotranspirace, PO ... povrchový odtok
a I ... infiltrace

(Mihaljevič, 2000)

Voda, která se infiltrovala, ale nedosáhla hladiny podzemní vody a proudí horizontálně v nenasycené zóně, se nazývá hypodermický odtok. (Beneš; 1995)

2.3. Rychlost infiltrace

Rychlost infiltrace se rovná množství vody, která se vsákne za jednotku času, například [mm/s]. Intenzita je rovna vsakovací schopnosti, pouze pokud je infiltrační kapacita vody plně vytížena. Infiltrační kapacita závisí na počáteční vlhkosti půdy a objemu volných pórů. Rychlost vsaku závisí na mocnosti vlhké půdy. S větší mocností se rychlost snižuje. (Beneš, 1995) V přírodních podmínkách je proces infiltrace a to zvláště rychlost infiltrace ovlivňována několika faktory:

- Fyzikální vlastnosti půdy
- Vegetační kryt půdního povrchu
- Vlhkost půdy
- Intenzita a trvání srážek
- Chemické látky přidané do půdy

(Böhmer, gis.vsb.cz)

Půdní profil značně ovlivňuje proces infiltrace. Je to horizontální řez půdou prováděný zákopem sondy. Vyčíst z něj můžeme půdní horizonty, kategorie půdy a částečně i chemizmus půdy. Půdní horizonty tvořící pedosféru jsou organická hmota (O), humusový horizont (A), spodní anorganický horizont (B) a podložní hornina (C). Nasycenost se určuje podle bilance srážek, odtoku a evapotranspirace. Pro proudění vody v nenasyčené zóně se předpokládá platnost stejných zákonů jako v zóně nasycené - tj. Darcyho rovnice a rovnice kontinuity. Darcyho zákon umožňuje vypočítat eventuální infiltraci. Parametry modelu jsou hydraulická vodivost, tlaková výška, efektivní pórovitost a nasycení půdy na počátku. (Kořínek, geotechnici.cz) Pro další popis infiltrace můžeme použít Richardsovy rovnice, které můžeme popsat vztahem:

$$v_i = -k(\theta) \frac{\partial H}{\partial x_i}$$

kde k je hydraulická vodivost v m/s, H je potenciál vody v m a x_i je souřadnice v m.. Rychlost infiltrace v čase znázorňuje infiltrační křivka.

2.4. Metody stanovení

Metody stanovení umělé infiltrace určují jak množství infiltrované vody, tak rychlost infiltrace do podzemí. Klasickou metodou pro stanovení rychlosti infiltrace je dvouválcový infiltrometr. Skládá se ze dvou soustředných válců a děrovaných vnitřních desek. Měření probíhá pomocí měřících hrotů. Metoda je vhodná pro orientační stanovení rychlosti infiltrace v dané lokalitě. V řadě případů postačuje. Získané parametry se používají ke stanovení vsakovací křivky. Metoda se používá například pro návrh sportovních hřišť, izolačních vrstev skládek komunálního odpadu a podobně. (hydropedologie.agrobiologie.cz) Nejužívanějšími metodami k řešení infiltrace jsou například Philips, Overtona, Green-Ampt, Hortona a metoda CN-křivky. (Böhmer, gis.vsb.cz)



*Obr. č. 3: Metoda dvouválcového infiltrometru
(demopark.de)*

3. Umělá infiltrace

Umělá infiltrace je způsob obohacování podzemní vody, při kterém se používá surová povrchová voda či voda částečně upravená. V České republice se umělá infiltrace používá hlavně k čištění surové vody a získání stálé teploty infiltrované vody. Další využití je uskladnění a následné využití uložené vody. (Böhmer, gis.vsb.cz)

Výhody umělé infiltrace:

- Využití potenciálního přírodního prostředí
- Dobré vlastnosti půdy
- Ochrana vod a životního prostředí
- Zvýšení dávky surové vody

Nevýhody umělé infiltrace:

- Vazba na konkrétní přírodní podmínky
- Individuální řešení

3.1. Historie

Umělá infiltrace je technologický postup používaný již starověkými civilizacemi. Prvními, kdo jej užíval, byli již Sumerové a Egypťané. Voda z Nilu byla rozváděna umělými kanály pro doplňování studní a rozvoj zemědělství. V Evropě byly první poznatky a zkušenosti publikovány až ve 2. polovině 19. století. V České republice se poprvé pojem infiltrace objevil na počátku 20. století. Teoretické základy položil Theim vypracováním teorie břehové infiltrace již roku 1877. Dle jeho projektu se začali využívat indukované a umělé zdroje i v České republice.

3.2. Podmínky umělé infiltrace

Výběr vhodného místa je nezbytný a je značně podmíněn okolím a horninovým prostředím. Oblast musí mít dobrou akumulační schopnost, horninové prostředí musí být dostatečně propustné. Místo umělé infiltrace musí být relativně čisté, nesmí se v okolí nacházet znečištění těžkými kovy ani ropnými látkami, protože umělá infiltrace je jeden ze způsobů čištění vody. (Mihaljevič, 2000)

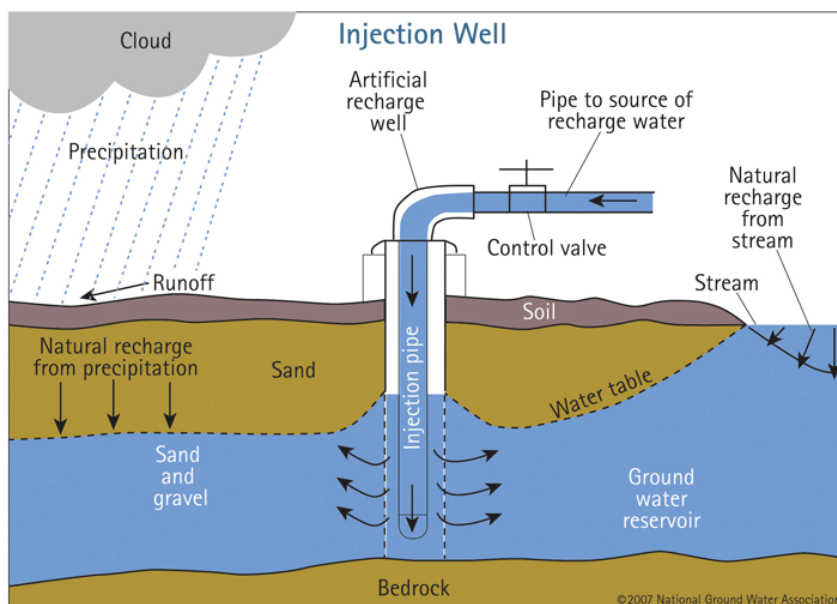
3.3. Technologický postup

Vsakovacími objekty používanými v umělé infiltraci jsou: infiltrační vrty, drenáže, příkopy a vsakovací nádrže. Dle několika hledisek je vybráno infiltrační zařízení. Ovlivňuje to zdroj vody, návrh kapacity infiltračního zařízení, údržba a provoz. Technologický postup používaný v současné době je složitý. Po odběru vody následují usazovací nádrže k zachycení hrubších látek. Písek je ode dna oddělen deskou s malými póry. Filtr se postupně zanáší a tak jsou klapky otvírány, aby docházelo ke stejné rychlosti filtrace. Odtokové klapky na dně van ovlivňují rychlost průtoku. Voda postupuje do provzdušnění a dále do zásobních nádrží. Za nimi je dávkován chlorid železitý a práškové aktivní uhlí. Následuje flotace a pískové rychlofiltry. Zde konečně přichází vlastní infiltrace. Voda, kterou pak jímáme, je znovu provzdušněna a po chlorování může být přivedena

ke spotřebiteli. (Herčík; 2008) Podle kolísání hladiny vody v nádrži můžeme určit účinnost umělé infiltrace na dané lokalitě. Vodní bilanci v nádrži demonstruje rovnice:

infiltrace = změna objemu vody – odpařování.

Z rovnice vychází, že musí být rovnováha mezi odpařováním a doplňováním ztrát v nádrži. V rovnovážném stavu se předpokládá, že pokles hladiny vody bude lineární. Rovnováha mezi odpařováním a infiltrací je řízena propustností. Vertikální průtok vody z nádrže přes půdní profil popisuje Darcyho zákon. Rychlost vsakování je ovlivněna vlhkostí v nenasycené zóně, snížením hloubky v nádrži nebo vzestupem hladiny podzemní vody. Nelineární klesání hladiny vody v nádrži je způsobeno několika faktory: změna hydraulického gradientu, změna propustnosti v čase (např. ucpání nádrže), změna tlakového spádu a tvar nádrže. Lze říci, že spolehlivým indikátorem účinnosti nádrží při vsakování je pokles vodní hladiny. Obecně platí, že čím rychleji voda v nádrži klesá, tím méně vody se ztratí při odpařování a tím je nádrž účinnější při vsakování vody do podzemí. (Neumann et al; 2004)



Obr. č. 4: Umělá infiltrace pomocí vstřikovacího potrubí
(National Ground Water Association, 2007)

3.4. Kontaminace

Jednou z významných praktických vlastností umělé infiltrace je její schopnost odstraňovat kontaminaci a zlepšovat jakost vody. Voda se v přírodním prostředí zpravidla nevyskytuje čistá, ale obsahuje vesměs nežádoucí příměsi a rozpuštěné látky. Ve formě suspenze může být část pevných látek. Mineralizace může být velmi rozsáhlá, pohybuje se od několika miligramů soli na litr až po stovky gramů na litr. Povrchové vody mají oproti vodám podzemním větší koncentrace organických látek. (Jandová et al., 2013) V podzemí se může povrchová voda části organických látek zbavit. Pokud jsou ve zvodni, která se používá jako zdroj pitné vody, škodlivé látky, je třeba je odstranit. (Matějů, recetox-education.cz)

3.5. Zasakování odpadních vod

Zasakovat odpadní vody je další možností umělé infiltrace. Vyčištěním odpadních vod vsakovaných do horninového prostředí umělou infiltrací se množství podzemních vod zvýší. Tento proces dnešní legislativa umožňuje pouze ve výjimečných případech. Novela vodního zákona (č.150/2010 Sb.) vstoupila v platnost 1. července 2010. Ustanovuje vsakování odpadních vod do podzemí následovně (§ 38 odst. 7): „Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod je zakázáno. Vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné nebo zvláště nebezpečně závadné látky z jednotlivých staveb pro bydlení a individuální rekreaci nebo z jednotlivých staveb poskytujících služby, vznikajících převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnostech přes půdní vrstvy do vod podzemních. Toto vypouštění lze povolit jen výjimečně na základě vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k jejich vlivu na jakost podzemních vod, pokud není technicky nebo s ohledem na zájmy chráněné jinými právními předpisy možné jejich vypouštění do vod povrchových nebo do kanalizace pro veřejnou potřebu.“ (Šráček et al., 2000)

Ochrana podzemních vod před znečištěním při vsakování závisí na retenčním potenciálu půdy nad hladinou podzemní vody. Rozhodující část čistících procesů probíhá v orniční vrstvě. Intenzita rozkladných procesů závisí na obsahu organické hmoty, teplotě a složení odpadních vod.

4. Umělá infiltrace ve světě

Umělá infiltrace se používá pro krátkodobé nebo dlouhodobé skladování vody a její opětovné použití. Vyžaduje to propustný povrch půdy. Nejčastěji se používají metody k ukládání a obnovy zvodně: infiltrační rybníky, břehová infiltrace, použití studen a přímé vstřikování do zvodněných vrstev. (Scanlon et al., 2012) Voda může být přímo injektována do zvodněných vrstev nebo se mohou použít například brázdy, rýhy, příkopy, šachty a přehrady. Nevýhodami přehrad jsou ztráty vypařováním a akumulace sedimentů. Stavba nových přehrad je ztížena vysokými náklady a odporem veřejnosti (zaplavení obydlených oblastí). Infiltrační povodí je tvořeno lagunami, šterkovnami, protipovodňovými-zavlažovacími poli. (Nijhawan et al., 2012) Doplnění podzemních toků může trvat od několika dní (dynamické doplňování krasových zvodní) až po tisíce let (identifikace lokalit vhodných pro ukládání radioaktivního odpadu). (Bouwer, 2002) Využití recyklovaných odpadních vod pro zavlažování krajiny je velmi rozšířeno v USA, Singapuru, Španělsku, Tunisku, Zimbabwe a Řecku. (Azaroual et al., 2013)

Problematice vsakování vod do horninového prostředí se významně věnují dvě nadnárodní organizace. International Association of Hydrogeologists se věnuje řízenému doplňování zvodněných vrstev. Využíváním odpadních vod se zabývá World Healthcare Organisation. V mnoha oblastech kolektory představují důležitý zdroj sladké vody. Zásobnost kolektoru závisí na jeho velikosti a typu. Hlubší zvodnělé vrstvy reagují na změnu klimatu se zpožděním. Mělké podzemní systémy (zejména nekonsolidované sedimenty) jsou při klimatických změnách citlivější. Tepelné i chemické vlastnosti podzemní vody mohou být ovlivněny změnou klimatu. V mělkých zvodních se může zvýšit teplota podzemní vody v důsledku zvýšení teploty vzduchu. (Kolář, 2000)

Postup užití umělé infiltrace:

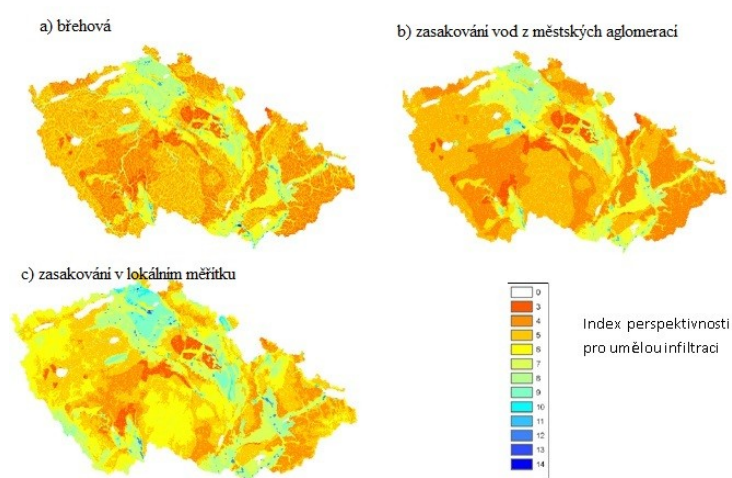
- Hydrologické posouzení
- Účinnost a struktura modelování
- Průzkum institucí
- Strategie, znalosti, dovednosti, přínosný základ a zranitelnost

Přizpůsobení podzemních zdrojů na změnu klimatu by měla být věnována větší pozornost. Zvyšování globální teploty vede ke změnám množství srážek, zvýšení intenzity a četnosti extrémních jevů, snížení sněhové pokrývky, tání ledu a zvyšování hladiny moří, ke změnám v půdní vlhkosti a odtoku. Odrážet se to může na zanedbávání hospodaření s podzemními vodami. Vzhledem k těmto okolnostem se bude poptávka po podzemní vodě zvyšovat stejně, jak roste světová populace. Je potřeba chránit kvalitu podzemní vody a snížit ztráty podzemní vody evapotranspirací. V některých případech by se mohlo stát, že náklady budou vyžadovat zavedení poplatků za užívání podzemních vod. (Clifton; 2009)

Významný pokles zásob podzemních vod je v severovýchodní Brazílii, západní Africe a na jižním okraji Středozemního moře, a to o více než 70%. Ke zvýšení infiltrace (o 30%) dochází v severní části Číny, v USA a v západní části Sibiře. Potenciálně významný pokles podzemních vod trápí Austrálii, USA a Španělsko. V jihovýchodní Austrálii v regionu Hawkesdale byly prováděny modely změny klimatu na podzemní zdroje podzemní vody. V úvahu byl brán druh vegetační pokrývky, hloubka hladiny podzemní vody, geologické a klimatické podmínky. Další studie prováděná v Africe došla k závěru, že kdyby nastalo snížení srážek o 15 %, u podzemních vod by to mohlo vést až k 45 % snížení. (Corsbie; 2007)

4.1. Česká republika

V České republice je několik lokalit, kde se využívá umělá infiltrace. Největší využití má část vodárny v Káraném. Koncem 80. let pak byly v provozu umělé infiltrace u Nového Bydžova, Luhu u Sušice, Přerov - Lýsky a Hrachovec u Valašského Meziříčí. Po oživení zájmu o umělou infiltraci se zrodilo několik výzkumných projektů. V Praze na Výzkumném ústavu vodohospodářském probíhal projekt řízené umělé infiltrace po celé České republice.



Obr. č. 5: Index perspektivnosti pro umělou infiltraci v České republice
(Vodohospodářský ústav T.G.M v Praze, 2010)

Realizátorem projektu je Výzkumný ústav Vodohospodářský ve spolupráci s Českou geologickou službou, dalšími kooperujícími organizacemi jsou Aquatest a. s., Geotest a.s., Envigeo s.r.o. a Progeo s.r.o. (vuv.cz)

Příprava projektu spočívala v řešení několika problémů. První částí je překlad informačních materiálů zabývajících se daným tématem. Dále probíhalo zhodnocení současných tuzemských a světových zkušeností s umělou infiltrací. Nutností je vytvoření metodiky na zhodnocení situace v celé České republice a stanovení lokalit vhodných k umělé infiltraci. Následuje zpracování návrhu na vybraných lokalitách, posouzení a doporučení způsobu matematického

modelování. Je potřeba zajistit informovanost příslušných úřadů, obcí a krajů, kde by měl projekt probíhat, a vodohospodářských orgánů a organizací. Projekt, jehož přípravy začaly v roce 2010, by měl trvat pět let.

4.2. Španělsko

Umělá infiltrace se používá nejen při výrobě pitné vody. Může pomoci při obnově přírodní rovnováhy. Cílem projektu ve Španělsku je zjistit, které oblasti jsou citlivé na umělé doplňování zvodnělých vrstev. V roce 1980 byla provedena obnova mokřadů v národním parku Tablas de Daimiel. (Navarro et al, 2012) Národní park Las Tablas de Daimiel se nachází v centru Španělska. Obnova proběhla pomocí osmi vrtů a výstavby přehrad Puente Navarro a Morenillo. Etapy projektu jsou: stanovení vhodných geologických útvarů pro umělou infiltraci, studie a návrh konkrétních mechanismů, environmentální aspekty, údržba ekologického objemového průtoku a šíření environmentálního vzdělávání. Situace španělských mokřadů dosáhla kritického bodu v průběhu 20. století, kdy byla jeho velikost snížena o 60 %. Hlavním problémem bylo nadměrné využívání zvodněných vrstev a rostoucí rozvoj měst. V současné době se používá vyčištěná odpadní vody z blízkého města, kterou je zaplavována postižená oblast. Dno mokřadů je tvořeno zejména jíly s příměsí kalu. K dalšímu postupu pomáhají data nasbíraná výparoměrem umístěným v parku. Shromažďuje množství srážek a ukazuje tak hodnoty evapotranspirace. V roce 1982 Španělsko ratifikovalo Ramsarskou mezinárodní dohodu o ochraně přírodních oblastí, planě rostoucích rostlin a volně žijících živočichů. (ramsar.org) Dohoda se týká ohrožených mokřadů. Mokřady jsou území bažin, rašelinišť, slatin, území pokrytá vodou. (Zajíčková, storm.fsv.cvut.cz) Sekretariát Úmluvy pak musí zajistit adekvátní ochranu a rozumné užívání mokřadů na svém území. U ohrožených mokřadů pak hledá smluvní strana řešení jejich obnovy. Jak vyplývá z monitoringu, má renesance této oblasti plno výhod. Například se zjistilo, že by se mohly zachovat Halophile bakterie, které jsou endemity tohoto území.

Význam umělé infiltrace ve Španělsku roste. Hydrologické plány zde zahrnují například výstavbu nových přehrad. Hlavní oblast se nachází na pánvi Duero o

rozloze 7754 km². Jde o severo-západní část Španělska zahrnující několik provincií a řeky Duero, Adaja, Eresma a Voltoya. Pánev Santiuse je ohraničena řekami Eresma a Voltoya. Umělá infiltrace je zde založena na výstavbě malých přehrad a příkopů, které zahrnují 14 vrtů. Infiltrační plocha tak dosahuje přes 33 m². Množství zasakované vody je ovlivněno proudem řeky Voltoya. Oblast Carracillo se nachází asi 40 km od pánve Santiuste. Rozkládá se na 150 km². Oba kolektory jsou tvořeny aluviálními říčními usazeninami a jíly. Santiuste je ohraničená pánev na rozdíl od oblasti Carracillo, která je tvořena otevřenou plochou se 34 vrtů. (Escalante, Gutierrez ;2002) Pozitivními účinky projektu jsou zlepšení v oblasti řízení zdrojů, snížení poklesu hladiny a kvalitativní zlepšení vod. Pokud jde o ekologii krajiny, území, společnosti a instituce, tyto činnosti musí být dobře uspořádány. (Escalante; 2002)

4.3. Mexiko

Mexiko je obecně považováno za zemi s nízkou dostupností vody. Důležitým faktorem jsou srážky v průběhu roku, protože období dešťů trvá pár měsíců, nikoliv průběžně. Roční srážky čítají 1488 mld. m³. Z toho se 5,4 % vsákne do půdy a doplňuje zásoby zvodní. V současné době 70 % vody dodávané do domácností pochází ze zvodní. V poslední době se vyvinuly metody k řízení a manipulaci zdrojů podzemních vod. Projekty zahrnují širokou škálu systémů, ve kterých vstupuje voda do zvodně úmyslně a kontrolovaně. (Palma, 2011) V Mexiku se rozvíjí hned několik druhů umělé infiltrace. Jde o infiltrační nádrže, použití kanálů či příkopů nebo výstavba přehrad. Pomocí hlubinných vrtů probíhá přímé zavedení vody do zvodně. Další používanou alternativou jsou například gabionové přehradky a vsakovací studně. Mexiko investuje do výstavby vstřikovacích studní a čerpacích zařízení. V severní části Mexika je to například San Luis Rio Colorado, kde je plocha infiltrace 14 400 m². (Guillén, 2014)

Vypouštění odpadních vod do povrchových toků je typické v Leonu. Hlavní infiltrace je zde z koryt řek pomocí tunelů, závlahových kanálů a zavlažovacích polí. Jsou do nich svedeny říční toky. Podobná situace tíží i města v severním a středním Mexiku. (Foster; 2004; Krpatová, 2011)

4.4. Indie

Účinnost umělé infiltrace je ovlivněna různými faktory, jako je klima, hydrogeologie, dostupnost zdrojů a jakost vody. V semiaridních oblastech, kde srážky přicházejí v krátkých intervalech, mají úložiště velký význam. (Gale, 2004)

Indie v posledních letech zaznamenala zvýšení zájmu po závlahových systémech z důvodu velkého sucha a nedostatku vody. Problémem je nedostatečné množství podzemní vody, která by se dala čerpat. (Britská geologická služba, 2005) Britská geologická služba prováděla od roku 2002 do roku 2005 průzkum podzemních vod v Indii „Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharges“. Šlo o posouzení využití podzemní vody pro užitkové účely a její úpravu na pitnou vodu. Rozvoj užití podzemní vody se zaměřením na podzemní vody je velice rozšířen a podporován v celé Indii. V posledních letech se zvyšuje poptávka po zásobách vody na zavlažování. Metody byly používány již po staletí od jednoduchých rýh po komplexní využívání infiltrací a studní. (Sarabhai, 2003; Britská geologická služba, 2005)

V první fázi AGRAR zkoumala metodiku a prováděla kontrolu účinnosti, identifikaci výhod a omezení nejistot spojených s umělou infiltrací. Ve druhé fázi probíhala zkoumání účinnosti celého projektu umělé infiltrace na strukturách v daných lokalitách. Studie sledovala hydrologické aspekty v průběhu dvou let a hodnotila efektivnost struktur. Přispěla k větší spolehlivosti vodních zdrojů, zavlažování potřebných oblastí a zlepšení stavu zemědělských domácností. (Neumann et al, 2004; Gale, 2002)

Ve státě Gujarat v západní části Indie proběhlo několik experimentů souvisejících s umělou infiltrací. V části Ahmedabad šlo o přenos vody z mělkého do hlubšího kolektoru. Za pomoci vstřikovacích studní trval experiment 92 dní. V mělké části kolektoru byly studně vyvrtány v hloubce 21 m. Druhou část tvořily studně ve vzdálenosti 61 m a v hloubce 238 m. V oblasti Saurashtra byl projekt zaměřen na rozšíření termálních vod. Umělá infiltrace zde

probíhala pomocí tlakového vstřikování čisté vody bez kalů a nečistot. Experiment trval 250 dní, kdy bylo každý den injektováno 225 m³ vody. Během infiltrace došlo ke zvýšení hladiny o 5 metrů. V oblasti Moti Rayan se podařilo rozšíření podzemního rezervoáru pomocí 18 kontrolních přehrad, 3 vsakovacích nádrží a 2 vstřikovacích studen. I ve dnech nízkých srážek bylo infiltrováno velké množství vody. (AGRAR Inception report, Gujarat, 2003)

Rozsáhlý průzkum prováděný v Indii probíhal v oblasti Kolwan walley. Byl zaměřen na studium umělé infiltrace a rozšíření zdrojů podzemní vody. Průzkum spočíval ve výstavbě kontrolních přehrad a čerpacích vrtů. Směr a vzdálenost proudění vody z nádrží kontrolovaly pozorovací vrty. Byly prováděny systematické čerpací zkoušky, kde byla doba měření minimálně 6-7 hodin. Z počátku projektu bylo zapotřebí rozsáhlé geologické mapování celé oblasti. Ukázalo se, že se jedná o rozsáhlou čedičovou oblast. Metodika zahrnovala detailní sledování různých aspektů jako je množství srážek, odpařování hladina vody ve vrtech, pozorovací vrty, kontrolní přehrady a vlastnosti kolektoru. (Guide of artificial recharge to ground water, 2000)

5. Úpravna vody Káraný

Nejvýznamnější projekt u nás využívající umělou infiltraci je v Káraném.

Vodní zdroj Káraný je jedním ze dvou zdrojů pitné vody pro Prahu. Na rozdíl od vody z nádrže Švihov (na řece Želivce) se zde jímá podzemní voda a infiltrovaná povrchová voda. Lokalita je blízko soutoku Labe s Jizerou. Podloží je zde tvořeno čtvrtohorními štěrkovými a štěrkopískovými náplavy, které překrývají starší sedimenty české křídové tabule. Voda se získává třemi různými způsoby: přirozená infiltrace, artéská voda a umělá infiltrace. Dochází ke smíchání tří uvedených zdrojů. Artéská voda je mimořádně kvalitní zdroj vody. Přitéká v hlubokém podzemí do této oblasti ze severní části geologického útvaru Česká křída. K jímání vody se používá sedm artéských vrtů. Složení vody odpovídá požadavkům na pitnou vodu již po jednoduché úpravě. Upravená voda je pak

vhodná k přípravě kojenecké stravy. Stáří artézské vody bylo stanoveno na 16 000 let. (karany.cz)

Ve 20. století byl v Praze stále zřetelnější nedostatek kvalitní pitné vody. V té době začaly být využívány vodní zdroje v Káraném. Výstavba úpravní vody byla započata v roce 1908 podle projektu Adolfa Theima. Káránská pitná voda se do Prahy dostala až 1. 1. 1914, kdy bylo dosaženo její hygienické nezávadnosti. V té době byla pitná voda získávána dvěma hlavními způsoby: přirozenou infiltrací a artéskými studněmi. (Pražské vodovody a kanalizace; 2013) Umělá infiltrace v Káraném byla vybudována v letech 1965 – 1969 v rámci akce Rozšíření vodárny v Káraném. Zaznamenala téměř zdvojnásobení dosavadní výroby. Projektantem akce byl Hydroprojekt Praha a provozovatelem se staly Pražské vodovody a kanalizace, a.s. Stavba byla zahájena 1. 1. 1965. I. etapa byla uvedena do provozu v září 1968, kde vydatnost zdrojů byla 500 l/s. Celková vydatnost vybudovaných zdrojů pak dosahovala 900 l/s. Současný průměrný výkon vodárny je 1 000 l/s. (karany.cz)

Na levém břehu Jizery je situováno odběrné zařízení. Odtud voda gravitačně přitéká do čerpací stanice. Povrchová voda z Jizery je po předčištění přiváděna čerpadly do vsakovacích nádrží. Celková filtrační plocha je 1440 m² a filtrační rychlost dosahuje cca 3,6 m/hod. Vsakovacích nádrží je vybudováno celkem patnáct o celkové ploše 70 000 m². Svahy nádrží mají sklon 1:1,5 a jsou opevněné monolitickou betonovou dlažbou. Nádrže jsou uspořádány ve dvou řadách, v každé nádrži je postaven napouštěcí objekt s vodoměrem a regulačním šoupátkem ovládaným dálkově. Reguluje se jím přítok vody do nádrže. Zdržení vody v podzemí musí být minimálně třicet dní, aby se odbouraly rozpuštěné organické látky obsažené v surové vodě na hodnoty, které připouští norma. Faktory, které mohou množství vody ovlivňovat, jsou: roční období, teplota vody, délka slunečního svitu, množství živin a organismů v surové vodě, stupeň zanesení nádrží a podobně. Ztráty únikem do okolí se pohybují kolem 20 % a není zaručena vydatnost 900 l/s. V současné době se podařilo ztráty zmírnit na 10 % při průměrné vydatnosti 400-500 l/s. Čištění a údržba se provádí na všech

nádržích, aby byl komplex schopen čerpat zvýšené množství surové vody a následně zvýšit dodávky pitné vody. Čištění je prováděno sejmutím vrstvy písku. Doplnění odebraného písku probíhá z vlastní pískovny. Trubní studně či spouštěné studně s horizontálními sběrači jsou umístěny asi 200 m od nádrží. Vrtaných trubních studní je celkem sto šedesát pět. Studně jsou vystrojeny kameninovými zárubnicemi s obsypem a vybaveny vodoměrem a pozorovacími trubkami pro měření hladiny vody ve studni. Jsou použity tam, kde jsou vhodné geologické podmínky. Umožňují získat dostatečné množství vody v daném časovém období s minimálními ztrátami vsakem do podzemí. Vydátnost studní bývá kolem 3 l/s. Kvalita pitné vody je závislá na kvalitě vody surové napouštěné vody do infiltračních nádrží, v horninovém prostředí ke změně obsahu rozpuštěných látek nedochází. Voda vyráběná pomocí umělé infiltrace je kvalitní a vyhovuje limitům vyhlášky 252/2004 Sb. ve všech směrech. Provoz umělé infiltrace je ovlivňován nestabilní kvalitou surové vody. Umělá infiltrace na lokalitě Káraný je v provozu více jak čtyřicet let a je svým rozsahem v České republice ojedinělá. (Herčík; 2008)



*Obr. č.6: Vsakovací nádrže umělé infiltrace v ÚV Káraný
(commons.wikimedia.org)*

Úpravna vody Káraný je jedna z mála velkých evropských úpraven vod, která si od svého vzniku zachovala původní kapacitu. V listopadu 2012 byla v úpravně vody Káraný, přesněji v Sojovicích, dokončena rekonstrukce filtrace a čerpací stanice. Došlo ke změně drenážního systému šesti filtrů a změně filtrační náplně z jednovrstvé na dvouvrstvou (písek a antracit), další změnou jsou nová čerpadla a turbodmychadla. Zkušební provoz má zjistit, zda bude možno v Sojovicích upravit před vsakováním surovou vodu i zhoršené kvality. Ze světových příkladů použití umělé infiltrace můžeme uvést například Asii, kde jsou vhodné podhorské oblasti pro stavbu infiltračních nádrží. Projekt je uskutečnitelný, pokud je v oblasti vhodná pánevní struktura. (pvk.cz; 2013)

6. Závěr

Umělá infiltrace se v posledních letech rozvíjí a má velké uplatnění jak u nás, tak v ostatních státech světa. Geologické služby pořádají rozsáhlé průzkumy na podporu této techniky. Umělá infiltrace je závislá na mnoha faktorech, ať už jde o klimatické změny, srážky nebo okolí vsakovacích nádrží. Využití podléhá těmto faktorům. Proto můžeme pozorovat rozdíly kvality i kvantity využívání v různých koutech světa. Úskalím je nalézt vhodnou strukturu, tedy místo, kde by bylo možné projekt uskutečnit. Technika umělé infiltrace vychází relativně levně. Problémem je kvalita zasakované vody. Umělá infiltrace dokáže vyčistit vodu do pitné podoby. Je to jedna z možností jak pomoci světu od nedostatku vody.

7. Seznam informačních pramenů:

I. Použitá literatura:

- AGRAR Inception report (2003): Aravalli Case Study, Gujarat, India
- Ambrožová J. (2003): Aplikovaná a technická hydrobiologie, VŠCHT Praha
- Azaroual M., Pettenatti M., Ollivier P., Besnard K., Casanova J., Rampnoux N. (2013): Reactive transfer of pollutants through the unsaturated soil zone during an artificial aquifer recharge process
- Beneš, V. (1995): Hydrodynamika transportních a transformačních procesů polutantů v podzemních vodách; Academia Praha.
- Böhmer T. (6. 4. 2014): Modelování vlivu lesního vegetačního krytu a lesní půdy na srážko-odtokové vztahy, Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava
http://gis.vsb.cz/GISacek/GISacek_2005/Sbornik/bohmer/bohmer.html
- British Geological Survey (14. 8. 2013)
<http://www.bgs.ac.uk/research/groundwater/agrar.html>.
- Bouwer H. (2002): Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering, US Water Conservation Laboratory
- Clifton, C., Hayes, S. (2009) : Water and Climate change: IMPACTS ON GROUNDWATER RESOURCES AND ADAPTATION OPTIONS, NETHERLAND.
- Crosbie, R. S. (2007): The hydrological impacts of climate change on groundwater. Cutting Edge Science Symposium: Hydrological Consequences of Climate Change.
- Efektivní využití zdrojů (17. 8. 2013): <http://www.generationawake.eu/cz>.
- Escalante, F., Gutierrez, J. L. (2002): Hydrogeological studies previous to the artificial recharge of Los Arenales, Duero basin (Spain); International symposium on artificial recharge of groundwater; Management of aquifer recharge for sustainability.
- Escalante, F., Gutierrez, J. L. (2002): Hydrogeological studies preceding artificial recharge at Los Arenales, Duero basin, Spain

International symposium on artificial recharge of groundwater;
Management of aquifer recharge for sustainability.

- Foster, S. S., Chilton, P. J. (2004) : Downstream of downtown: Urban wastewater as groundwater recharge in *Hydrogeology journal*; vpl. 12, number1/February 2004, Springer, Berlin; page 115 – 120.
- Gale, I., Macdonald, D., Calow, J. and Neumann, I. (2004): Managed Aquifer Recharge: an assessment of its role and effectiveness in watershed management Groundwater systems and water quality programme commissioned report CR/06/107N, British Geological Survey.
- Gale, I. (2002): Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge (AGRAR); British Geological Survey, Groundwater Programme.
- Geomorfologie (12. 11. 2013):
http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/9_kapitola.htm
- Guide on Artificial Recharge to groundwater (2000): Central groundwater board ministry of water resources, New Delhi
- Guillén Ch. (12. 4. 2014): Casos de recarga artificial en México; Recarga Artificial de Acuíferos
http://www.agua.unam.mx/acuiferos_presentaciones.html
- Herčík, L. (2008): 40 let provozování umělé infiltrace v Káraném (1968-2008); Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Sborník konference Pitná voda 2008, s. 289 - 294.
- Jandová, V., Huzlík, J., Ličbinský, R. (2013): Proces přirozené atenuace na lokalitě kontaminované ropnými látkami; Vodní hospodářství, Bohumilice, Vodní hospodářství, spol. s r.o.
- Kořínek R. (14. 2. 2014): Mechanika hornin a zemin
<http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-04.pdf>
- Kolář K. (2000): Stanovení nárostů a hodnocení umělé infiltrace, Sovak Praha

- Krpatová, K. (21. 3. 2011): (Ne)dostatek vody v Mexico City
http://www.rozvojovka.cz/download/docs/22_ne-dostatek-vody-v-mexico-city.pdf
- Matějů V. (16. 4. 2014): Náprava ekologických škod, Envisan-Gem, a.s.
<http://www.recetox-education.cz/res/obory/ENV008.pdf>
- Mihaljevič, M., Moldan, B. (2000): Otázky biogeochemie; Nakladatelství Karolinum Univerzity Karlovy v Praze.
- Moldan, B. (2009): Podmaněná planeta; Nakladatelství Karolinum Univerzity Karlovy v Praze
- Navarro V., García B., Asensio L. (2012): Characterization of the infiltration rate in Las Tablas de Daimiel National Park, Central Spain
- Neumann, I., Barker, J., MacDonald, D., Gale, I. (2004): Numerical approaches for approximating technical effectiveness of artificial recharge structures; Groundwater systems and water quality programme commissioned report CR/04/256N, British Geological Survey
- Nijhawan A., Labhasetwar P., Jain P., Rahate M. (2012): Public consultation on artificial aquifer recharge using treated municipal wastewater, National Environmental Engineering Research Institute
- Palma, A. (2011): Jornadas Técnicas sobre la Recarga Artificial de Acuíferos y Reúso del Agua.
- Pijte zdravou vodu (25. 4. 2014): *<http://www.pijtezdravouvodu.cz/o-vode/>*
- Pražské vodovody a kanalizace, a.s. (17. 8. 2013):
<http://www.pvk.cz/res/data/112/012237.pdf>
- Ramsarská smlouva (1. 5. 2014):
http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-about-sites/main/ramsar/1-36-55_4000_0__
- Scalon R., Cook G. (2002): Theme issue on groundwater recharge, Hydrogeology Journal, The University of Texas at Austin
- Statistika světové populace (15. 8. 2013):
<http://www.worldometers.info/cz/>.

- Sarabhai, V. (2003) Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge Research Site at Aravalli Hills, Gujarat, India; AGRAR Inception Report: Aravalli Case Study.
- Šráček O., Datel, J., Mls, J. (2000): Kontaminační hydrogeologie; Nakladatelství Karolinum Univerzity Karlovy v Praze.
- Úpravna vody Káraný (11. 4. 2012):
<http://www.karany.cz/firmy-v-obci/prazske-vodovody-a-kanalizace-as-vodarna-karany/?ftresult=upravna+vody>
- Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (13. 4. 2014):
<http://www.vuv.cz/zpracovani-metodiky-pro-posuzovani-problematiky-umele-infiltrace-v-cr>
- World Health Organization (10. 8. 2013):
<http://apps.who.int/gho/data/view.main.584?lang=en>.
- Zajíčková J., (12. 2. 2013): Mokřady, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/ykrv/Mokrady.pdf

II. Obrázky:

č. 1: Pravděpodobný vývoj světové populace od roku 1700 do roku 2050

<http://www.worldometers.info/world-population/>

č. 2: Infiltrace do podloží

<http://eksparsh.wordpress.com/category/environment/>

č. 3: Metoda dvouválcového infiltrometru

(<http://demopark.de/en/special-show-on-sports-and-golf-turfgrass/news-february-2013/>)

č. 4: Umělá infiltrace pomocí vstřikovacího potrubí

http://www.ngwa.org/Fundamentals/hydrology/PublishingImages/injection_well.gif

č. 5: Index perspektivnosti pro umělou infiltraci v České republice

http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=719100&x=1036400&s=1

č. 6: Vsakovací nádrže umělé infiltrace v ÚV Káraný

http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Vsakovac%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE_e_um%C4%9Bl%C3%A9_infiltrace_v_%C3%9AV_K%C3%A1ran%C3%BD.jpg

dostupné ke dni 19. 8. 2013

